

2019 年 2 月 14 日

「博士学位請求論文」審査報告書

審査委員 (主査) 理工学部 専任教授

氏名 平 石 久 廣 (印)

(副査) 理工学部 専任教授

氏名 小 山 明 男 (印)

(副査) 理工学部 専任教授

氏名 小 林 正 人 (印)

(副査) 東京大学地震研究所 教授

氏名 楠 浩 一 (印)

1 論文提出者 大出 大輔

2 論文題名 「建築物の耐震性能評価と現行基準の課題」

(SEISMIC PERFORMANCE EVALUATION OF BUILDINGS AND ISSUES OF CURRENT STANDARDS)

3 論文の構成

本論文は以下の 5 章から構成されている。

第 1 章 序論

第 2 章 等価線形化法に基づく応答評価

第 3 章 現行基準の課題

第 4 章 首都圏実地盤上における鉄筋コンクリート造低層建物の耐震性能

第 5 章 結論

4 論文の概要

本論文は、現行耐震基準に基づき設計された日本の建物の耐震性能の実状を、論理的および解析的に視認できる形で示すことで、技術者が容易に耐震を理解できることとともに、その成果が耐震基準や耐震技術等に容易に反映できることを目的としたものである。

我が国の建築物の耐震設計に用いる基準は、大きな地震被害を教訓に、同じ被害を繰り返さな

いたために幾度も改訂されてきたが、1981年に強震記録や振動論ならびに弾塑性理論に基づいた保有水平耐力計算が施行され、現在でも日本の多くの建物に適用されている。しかしながら、現代の知見を踏まえると、保有水平耐力計算による必要ベースシア係数の算出に用いる構造因子にはさらなる検討の余地も多い。一方、仕様規定型の保有水平耐力計算とは別に、2000年には性能規定型の基準として、応答スペクトルに基づいた限界耐力計算が施行された。しかるに日本においては、2005年に耐震偽装事件が起り、二種類の耐震設計法を用いて構造計算した際の必要耐力に大きな差異が生じることが議論となり、結果として、当該建物においては耐力的には設計可と判定される限界耐力計算の普及が足踏みすることとなった。

本論文では、これら2種類の耐震基準に基づき設計された建物が、耐震規定では最も重要となる倒壊に至るほどの大変形を受けた時の応答性状に着目し、理論的および解析的に体系的かつ総合的な検討を行っている。理論的検討においては、等価線形化法に基づき、建物の地震応答時の等価周期と加速度応答スペクトルの関係などから、建物の必要ベースシア係数に耐震設計用構造因子が与える影響を容易に視認し得る形で応答の評価式を導出している。この応答評価式を基に、保有水平耐力計算と限界耐力計算によって算出される必要ベースシア係数の差異を明示し、結果として限界耐力計算と比較して保有水平耐力計算は、地域係数が小さく地盤周期の長い地盤上の低層建物の必要ベースシア係数を小さい値に、地域係数が大きく地盤周期の短い地盤上の高層建物の必要ベースシア係数を大きい値に評価する傾向があることなどを明らかにしている。また、解析的検討においては、地震時に最も応答が厳しくなりがちな保有水平耐力計算に基づき耐力設定された鉄筋コンクリート造低層建物に対して、地盤との相互作用（スウェイ）を考慮した地震応答解析を実施し、日本における建物の地震応答の実状を検討している。解析には首都圏実地盤情報を反映し、様々な地盤の増幅特性を考慮することで、地盤周期と建物の地震応答の関係を明らかにするとともに、耐震性能に及ぼすスウェイの影響についても検討を行っている。さらに、各解析条件における建物の靱性能と建物が崩壊に至ると想定される変形角との関係より、首都圏の鉄筋コンクリート造低層建物の危険度の指標となるマップを作成し、地域ごとの建物の地震応答性状や、地盤のせん断波速度と建物の地震応答の相関性を明らかにしている。

以下、本論文の構成に従い、各章の概要について述べる。

第1章「序論」では、本論文の背景として、日本における主な地震被害と耐震設計基準の変遷を示している。次に、日本の現行基準による耐震性能評価に関する近年の研究動向について調査・分析し、現行基準の問題点を指摘するとともに、既往の研究では検討が不足している事項を明示している。さらに、既往の研究に対する本論文の位置づけならびに研究目的、研究方針、論文構成を示している。

第2章「等価線形化法に基づく応答評価」では、まず、等価線形化法に基づく応答評価法に基づき、建物が崩壊に至るほどの地震応答変形を受けた場合の、等価剛性に基づく等価周期を求めている。これにより得られた建物の等価周期と限界耐力計算により規定される加速度応答スペクトルの関係から、日本に実在するほとんどの建物は、崩壊時の等価周期が速度一定領域に属することを示している。また、疑似応答スペクトルの関係やエネルギーの釣り合いの関係から、速度一定領域における建物の必要ベースシア係数と地震応答変形角の関係式を導いている。さらに、この関係式から、限界耐力計算において耐震設計時に用いる構造因子が建物の耐震性能評価に与える影響を容易に視認できる応答評価式を導いている。

第3章「現行基準の課題」では、前章で求めた応答評価式に基づいて、日本における現行の耐震基準である保有水平耐力計算と限界耐力計算により算出される必要ベースシア係数と変形の関係を示している。保有水平耐力計算では弾性周期に基づき必要ベースシア係数を算出することから、多くの中低層建物が振動特性係数一定の領域で建物が設計されるが、限界耐力計算では建物の地震応答時の等価周期を用いて必要ベースシア係数を算出することから、ほとんどの中低層建物が加速度応答スペクトルにおける速度一定領域で設計される。この違いに基づき、建物の立地条件や靱性能により、両設計基準により算出される必要ベースシア係数に生じる差を、定量的に示している。また、建物の耐震設計時に用いる構造因子である、構造特性係数、地域係数、振動特性係数、地盤増幅係数が、建物の耐震性能に与える影響をより詳細に検討し、設計者が現行基準において配慮すべき点を指摘している。

第4章「首都圏実地盤上における鉄筋コンクリート造低層建物の耐震性能」では、保有水平耐力計算により耐力を設定した低層鉄筋コンクリート造建物を対象として、首都圏各地における実地盤の地盤増幅を考慮した地震動を用いて、地盤との動的相互作用を考慮した地震応答解析を行い、実状により即した耐震性能を検証している。検討対象とする建物は、鉄筋コンクリート造ラーメン構造と、我が国の代表的な中低層集合住宅である鉄筋コンクリート造壁式構造とし、地盤周期と建物の地震応答変形の関係を明らかにするとともに、理論的検討において得られた関係式の妥当性を確認している。また、検討対象とした低層建物においては、建物と地盤との動的相互作用（スウェイ）の有無による建物の地震応答の違いを、累積消費エネルギーなどから明らかにしている。さらに、各解析条件における建物の地震応答解析結果より、首都圏の低層鉄筋コンクリート造建物の危険度の指標を示すマップを提示することで、保有水平耐力計算に基づく耐震性能評価と地震応答解析結果の差異や、地域による建物の危険度の傾向を明らかにしている。また、地図上で地震応答解析結果と地盤増幅率の分布を比較し、保有水平耐力計算に基づき設計された建物の地震応答変形は地盤増幅率と相関性が高いことを示している。

第5章「結論」では、本論の検討に対するまとめを記すとともに、今後の研究課題を示している。

5 論文の特質

本論文では我が国の建物の耐震性の実状と課題を検討するにあたり、既往の知見も含め体系的かつ総合的な耐震性能評価を行っている。耐震性能評価に関する既往の研究は、耐震設計に用いる構造因子を個々に対して詳細に検討したものや、具体的な建物モデルを想定した実験や解析に基づいた検討が多い。本論文のように理論と解析の両面から、構造因子が耐震性能評価に与える影響を総合的かつ体系的に示すものは他に例が少なく、本論文の最大の特質と言えよう。

6 論文の評価

理論的検討において、建物の必要ベースシア係数に耐震設計用構造因子が与える影響を合理的な理論に基づいて視認できる形で応答評価式を導出したことは、耐震研究における画期的な成果と言える。これにより、技術者が容易に耐震を理解できることとともに耐震基準や耐震技術等に容易に反映できることにつながり、学術だけでなく実務的にも極めて意義の高い論文である。また、解析的検討においては首都圏の鉄筋コンクリート造低層建物の危険度の指標となるマップ

を作成しており、防災上の観点からも大きな意義を有する。

7 論文の判定

本学位請求論文は、理工学研究科において必要な研究指導を受けたうえ提出されたものであり、本学学位規程の手続きに従い、審査委員全員による所定の審査及び最終試験に合格したので、博士（工学）の学位を授与するに値するものと判定する。

以 上